



VARIABILIDAD FUNCIONAL COMO FACTOR DE EFICIENCIA EN LOS LANZAMIENTOS A PORTERÍA EN BALONMANO

Functional variability as efficiency factor in handball throwing to the goal

Marcos Gutiérrez-Dávila ¹ Mail: marcosgd@ugr.es
Javier Rojas ¹ Mail: fjrojas@ugr.es
Manuel Ortega-Becerra ² Mail: maob@hotmail.com
Juan Párraga ³ Mail: jparraga@ujaen.es
José Campos ⁴ Mail: Jose.Campos@uv.es

Recibido: 27/04/2012

Aceptado: 18/06/2012

¹ Universidad de Granada

² Universidad Pablo Olavide de Sevilla

³ Universidad de Jaén

⁴ Universidad de Valencia

Correspondencia:

Marcos Gutiérrez Dávila
Facultad de Ciencias del Deporte de Cáceres. Universidad de Granada
Carretera de Alfacar, s/n CP: 18071 Granada
Mail: marcosgd@ugr.es

Resumen

El propósito de este estudio ha sido evaluar y comparar la variabilidad intraindividual del patrón de movimiento del lanzamiento a portería en función de cuatro direcciones de lanzamiento y en presencia del portero. Han participado doce jugadores de la primera división española de balonmano, de los cuales, cinco eran jugadores de campo experimentados y siete eran porteros con experiencia. Los lanzamientos fueron filmados con dos cámaras sincronizadas temporalmente a 500 Hz, lo que nos permitió obtener las coordenadas espaciales de un modelo compuesto por cinco marcadores corporales más el centro geométrico del balón. Se ha utilizado un modelo estadístico basado en el análisis de conglomerados -cluster analysis- y un análisis de varianza factorial sobre los datos temporales de cada conjunto de datos. Los resultados ponen de manifiesto que los jugadores especialistas en lanzamientos exteriores obtienen una mayor variabilidad en su patrón de movimiento, sin que se hayan podido asociar los cambios a las diferentes direcciones de lanzamiento. Los marcadores más distales (muñeca y balón), han sido los que se han mostrado más sensibles a ofrecer indicadores de dirección.

Palabras clave: Cinemática, Balonmano, Análisis de bloques, Cadenas cinéticas.

Abstract

The purpose of this study was to compare and to gauge players' intra-individual variability in the movement pattern of four throwing directions, which are the corners of the goal, in the presence of the goalkeeper in handball. Twelve right handed players from the Spanish first division participated as subjects of whom five were experienced field players and seven were experienced goalkeepers. The throws were filmed by two video cameras synchronized temporally at 500 Hz, allowing us to obtain the spatial coordinates of a model composed of five markers body are the geometric center of the ball. We used a statistical model based on cluster analysis, and a factorial ANOVA of the temporal data recorded to analyze the differences among the throws. The results show that specialist distance throwers achieve greater variability in their movement pattern, regardless of the changes in the different throwing directions. Non-specialist throwers offer more and earlier direction indicators, before the release of the ball, to goalkeepers than distance throwers. The wrist and the ball were the most sensitive direction indicators of the throws. The transverse axis (y) offered greater amplitude of movement in this axis when the throw is made to the left side of the thrower.

Keys words: Kinematics, Handball, cluster analysis, kinetic chains

Introducción

Los lanzamientos que tienen como objetivo obtener una alta velocidad del segmento más distal, como sucede en la mayoría de los lanzamientos de balonmano a portería, utilizan un patrón de movimiento basado en las cadenas cinéticas secuenciales (Proximal-Distal, P-D). La eficiencia de este modelo de cadena cinética depende de tres factores generales: a) la posición adoptada por los segmentos en el espacio, b) la participación de la musculatura implicada y c) de la secuencia temporal de participación de los segmentos, la cual está condicionada por la transferencia de los impulsos angulares, desde el segmento más proximal hasta el más distal (Herring and Chapman, 1992; Putnam, 1993). Sin considerar la inevitable variabilidad debida al sistema neuromuscular, la necesaria transferencia de impulsos angulares desarrollada durante la secuencia temporal de participación segmentaria en las cadenas cinéticas P-D, exige de una cierta estabilidad individual en el patrón de lanzamiento a portería, un factor de variabilidad que estará presente en todo el proceso de aprendizaje y perfeccionamiento técnico de los jugadores.

Así, los procesos de aprendizaje de los patrones de movimiento P-D se identifican, en una fase inicial, con dos etapas que están estrechamente relacionadas con la variabilidad (Newell et al. 2006). Durante la primera de ellas, denominada "*de coordinación*", se adquieren las coordinaciones básicas del lanzamiento, donde la variabilidad de los patrones de lanzamiento suele ser muy alta y aleatoria. En base a la idea de que los patrones de movimiento son más estables cuando se incrementa la práctica (Glazier, et al., 2006; Chow, et al., 2008), surge progresivamente una segunda etapa: "*de control*", donde el patrón de movimiento P-D se hace más estable y la variabilidad tiende a reducirse. El final de esta etapa se asimila un modelo individual del patrón de lanzamiento estable, donde el jugador consigue el control de la velocidad y la precisión. Posiblemente un modelo individual de lanzamiento ajustado a un patrón de movimiento teórico. Pero este no es el final del proceso, al menos para aquellos lanzamientos que están condicionados por referencias externas (especialmente las acciones de los oponentes y el portero en las

acciones de lanzamientos a portería), donde la estabilidad del modelo podría constituir un factor favorable a los intereses del portero para interceptar el balón.

En este sentido, parece lógico pensar que ante una situación de interacción portero-lanzador, el primero debería anticiparse a la dirección de lanzamiento a partir de los indicadores que obtiene del patrón de movimiento utilizado por el lanzador, mientras que el lanzador debería ocultar dicha información para engañar al portero. Por ejemplo: en los lanzamientos de siete metros en balonmano, cuando la velocidad de despegue del balón es de 25 ms^{-1} , éste tarda en alcanzar la portería 280 ms^{-1} después del despegue de la mano del lanzador (Schorer et al., 2007), mientras que el mejor tiempo de reacción de elección para deportistas expertos es de $358.22 \pm 25.87 \text{ ms}$ (Mouelhi et al., 2006). Estos datos ponen de manifiesto que los porteros necesitarían obtener información acerca de la dirección de lanzamiento antes de que el balón inicie su trayectoria aérea, es decir, necesitan recoger la información del patrón de movimiento utilizado por el lanzador, mientras que el lanzador debería ocultar dicha información. En este sentido, nuestros datos han puesto de manifiesto que los porteros expertos de balonmano son capaces de predecir el lado de lanzamiento con $193 \pm 67 \text{ ms}$ de antelación desde que el jugador suelta el balón (Gutiérrez-Dávila et al., 2011a).

Para ocultar la información, el lanzador podría utilizar dos tipos de estrategias para engañar al portero (Schorer et al., 2007): a) utilizar diferentes patrones para lanzar a una determinada dirección y b) utilizar el mismo patrón de movimiento para lanzar a diferentes direcciones. Cualquiera de estas opciones requiere modificar en algún momento el patrón de movimiento para dirigir el balón hacia la dirección deseada. Se trata de una habilidad compleja que requiere una tercera fase de aprendizaje que Newell et al. (2006) han denominado de "*Habilidad*", donde los patrones de movimiento se adaptan a las referencias debidas a las acciones de los oponentes. En esta etapa aparece de nuevo una cierta variabilidad, pero, en este caso, se trata de una variabilidad funcional que distinguiría a los buenos de los excelentes jugadores. Concretamente, para los lanzamientos a portería en balonmano, Schorer et al. (2007) han distinguido entre una variabilidad producida por el azar, la cual se reduce con la práctica y una variabilidad funcional que estaría relacionada con los cambios que se producen en el patrón de movimiento con el propósito de engañar al oponente, la cual se ha registrado especialmente en lanzadores de alto nivel.

Fradet et al. (2004), profundizan en el análisis sobre la estabilidad de los patrones de lanzamiento basados en las cadenas cinéticas secuenciales, al poner de manifiesto que el patrón de movimiento utilizado por jugadores de balonmano muy experimentados, no se comporta como una estructura típica de secuencia temporal segmentaria P-D. Aunque las razones expuestas para dar una explicación a este hallazgo son poco claras, estos autores consideran probable que se deba a un intento de engañar al portero y/o proteger el hombro de ciertas lesiones. En contra de las conclusiones expuestas sobre la no secuencialidad de la cadena cinética P-D, nuestros resultados sugieren que el comportamiento secuencial (P-D) se mantiene, siendo el movimiento de flexión del tronco, junto a su inercia, el factor que permite reducir el tiempo de ejecución de la cadena cinética, así como la posibilidad de elegir el instante de inicio de lanzamiento en función de las acciones del portero (Gutiérrez-Dávila, et al. 2011,b). Estas conclusiones pueden fundamentarse al considerar que la mayoría de los lanzamientos de balonmano se producen ante oposición, donde la velocidad de despegue del balón no debe ser el único criterio de eficacia. Así, ante estas situaciones, un jugador de balonmano experto y eficaz, además de conseguir una alta velocidad de despegue del balón, debería ser capaz de lanzar con rapidez y precisión, mientras engaña al oponente.

Según las consideraciones expuestas, en este trabajo se persiguen dos objetivos. El primero consiste en la detección de la variabilidad intraindividual del patrón de movimiento utilizado para los lanzamientos realizados de nueve metros en función de cuatro direcciones de lanzamiento y en presencia del portero. Finalmente, se pretende detectar las posibles diferencias en los patrones de movimiento entre jugadores con la misma experiencia en balonmano que actúan habitualmente en diferentes puestos específicos.

Método

Han participado cinco jugadores de la primera división española de balonmano con una experiencia media de 14.2 ± 1.7 años. Dos de ellos (S1 y S2), han jugado en el puesto específico de pivote (edad= 25 ± 2 años; talla= 1.91 ± 0.04 m; masa= 94.36 ± 4.26 kg). Otros dos (S3 y S4), han jugado en los puestos específicos de primera línea (lateral izquierdo), siendo especialistas en lanzamientos exteriores (edad= 24 ± 1 años; talla= 1.85 ± 0.05 m; masa= 84.86 ± 6.58 kg). Un quinto jugador (S5), aunque su puesto específico ha sido también de primera línea (lateral derecho), su especialidad no ha sido el lanzamiento desde el exterior (edad= 21 años; talla= 1.80 m; masa= 79.00 kg). También han participado siete porteros de balonmano pertenecientes a equipos de la primera división de la liga española, con una experiencia de más de ocho años (edad= 28 ± 5 años; talla= 1.86 ± 0.03 m; masa= 89.79 ± 9.93 kg). A todos ellos se les informó y solicitó su consentimiento para participar en este estudio y se respetaron el resto de indicaciones de la Declaración de Helsinki actualizadas en la Asamblea de Seúl de la WMA (World Medical Association, 2008).

Se ha utilizado un diseño intrasujeto, donde cada jugador debería realizar 35 lanzamientos a portería en cuatro direcciones diferentes. Considerando el lado dominante del lanzador, las direcciones de lanzamiento propuestas fueron las siguientes: a) el ángulo superior del poste del lado dominante (DS), b) el ángulo inferior del poste del lado dominante (DI), c) el ángulo superior del poste del lado no dominante (NS) y d) el ángulo inferior del poste del lado no dominante (NI).

Tras un calentamiento previo personalizado, los jugadores recibieron las instrucciones de realizar los lanzamientos en apoyo, consiguiendo la máxima velocidad de salida del balón y ajustando la dirección del lanzamiento a los ángulos superiores o inferiores de la portería. Se les informó que podían realizar su desplazamiento previo habitual y eran libres de elegir la dirección de lanzamiento que creían más adecuada en cada caso, así como cambiar de dirección durante el lanzamiento si lo consideraban oportuno. Se consideraron como ensayos válidos todos aquellos en los que la dirección del balón se orientaba hacia la portería, incluidos los postes y el suelo que la delimita. Los ensayos se realizaron en bloques de cinco, utilizando un portero diferente para cada bloque y siendo el mismo orden para todos los lanzadores.

Todos los porteros recibieron las instrucciones de situarse en su posición habitual y de no realizar movimientos previos hasta la acción definitiva para interceptar el balón. Tras el registro de los treinta y cinco lanzamientos de cada lanzador, se seleccionaron para su estudio los correspondientes a los lanzamientos cuya trayectoria no se desviaba más de 0.4 m. de los cuatro ángulos exteriores de la portería.

Los jugadores de campo realizaron sus lanzamientos ajustando sus últimos apoyos a una zona situada a 10 m de una portería que previamente había sido delimitada por un sistema de referencias (SR1) donde el eje horizontal (x) estaba asociado al suelo y era perpendicular a la portería; el eje transversal (y) estaba asociado al suelo y era perpendicular al anterior y el eje vertical (z) era perpendicular a los otros dos. Los

lanzamientos se filmaron utilizando dos cámaras de video digital de alta velocidad, Redlake MotionScope PCI 1000S, a una frecuencia de 500 Hz, situadas en el lado dominante del lanzador a 25 m del centro geométrico de la zona de lanzamientos y 30 m entre ellas. Para la sincronización de las dos cámaras se utilizó una señal electrónica que activaba su puesta en marcha. Para cuantificar la precisión del lanzamiento se utilizó una tercera cámara de vídeo digital Canon *mv730 i*, a una frecuencia de 25 Hz, situada a 15 m tras la portería y perpendicular a ella.

A partir de la imagen donde el portero interceptaba el balón o éste alcanzaba, aproximadamente, su posición, se determinó la distancia comprendida entre el centro geométrico del balón y el ángulo exterior de la portería o base externa del poste, utilizando para su cálculo un sistema de referencias 2D asociado a la portería. La distancia calculada se relacionó inversamente con la precisión del lanzamiento (PRECISION), siendo ésta mayor cuanto menor era la distancia.

Para todos los lanzamientos correspondientes a los registros seleccionados para el análisis, se determinaron las coordenadas tridimensionales de cinco puntos corporales (punta del pie no dominante; la cadera, el hombro, el codo y la muñeca del lado dominante) más el punto correspondiente al centro geométrico del balón. El proceso de cálculo se realizó en tres fases: a) se digitalizaron las posiciones de los seis puntos, a partir de las imágenes procedentes de las dos cámaras de video de alta velocidad, a una frecuencia de 125 Hz, b) se utilizó el método de transformación lineal directa (Abdel-Azir and Karara, 1971) para obtener las coordenadas tridimensionales y c) a las coordenadas espaciales obtenidas en la fase anterior, se les aplicaron las funciones splines de quinto orden (Wood and Jennings, 1979) para suavizar e interpolar las coordenadas espaciales a la misma frecuencia que fueron filmadas (500 Hz). Para determinar la velocidad tangencial instantánea del balón en el momento aproximado de su suelta ($V_{(DESPEGUE)}$), se utilizó la primera derivada con respecto al tiempo de las funciones splines de quinto orden. El tiempo de lanzamiento ($T_{LANZAMIENTO}$), se ha considerado como el periodo comprendido entre el instante en que se produce el pleno apoyo del pie más adelantado en el suelo y la suelta del balón.

Con el propósito de poder comparar las coordenadas tridimensionales de los puntos digitalizados para todos los lanzamientos, se realizó una transformación con respecto a un sistema de referencias (SR2), cuyo origen estaba situado en las coordenadas de la punta del pie del lanzador cuando éste estaba plenamente apoyado en el suelo y, tanto la dirección como el sentido de sus respectivos ejes, coincidían con los del SR1. En la figura 1 se presenta un esquema de los equipos de registro utilizados, así como los dos sistemas de referencia indicados (SR1 y SR2).

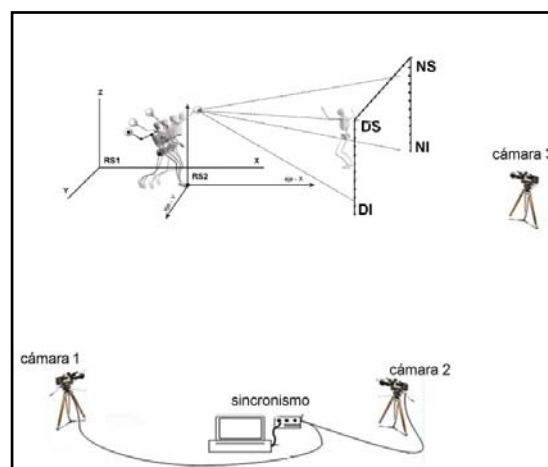


Figura 1.- Esquema general del método utilizado para la captación de los registros.

Finalmente se almacenaron las coordenadas espaciales de los marcadores de la cadera, hombro, codo, muñeca y el centro geométrico del balón, lo que se repitió para los lanzamientos seleccionados para cada lanzador. Para cada punto, los datos se agruparon en tres conjuntos de datos (uno para cada coordenada) de series temporales, con 140 datos en cada serie (280 ms antes de la suelta del balón).

La mayoría de los trabajos que han tratado de identificar la variabilidad y estructura de los patrones de movimiento a través del análisis cinemático, han utilizado el análisis de componentes principales (PCA), una técnica estadística de síntesis que permite interpretar los patrones de movimiento reduciendo su dimensión en unos pocos factores o componentes principales, sin perder demasiada información de su compleja estructura (Huys et al., 2008; Williams, et al., 2009). Con esta técnica, los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal del conjunto de los factores originales, los cuales son independientes entre sí. Considerando que esta característica podría provocar ciertas dificultades de interpretación e introducir fuentes de error en el análisis, hemos optado por utilizar un modelo estadístico de clasificación de los datos, basado en el “cluster analysis”, según la metodología descrita por Schorer et al. (2007). En esta metodología se utiliza la distancia eucladiana cuadrática como medida de distancia entre las distintas series de datos, en dos fases: en la primera se usa un análisis de conglomerados con el propósito de detectar y eliminar las series de datos procedentes de lanzamientos extraños que no se ajustan al patrón de movimiento analizado y, en una segunda fase, se utiliza el método “Ward”, que nos ha permitido desarrollar el dendograma, así como una representación esquemática para identificar el número de grupos o conjunto de datos que están relacionarlos con la dirección de lanzamiento. Para completar el análisis de cada conjunto de datos, se ha aplicado un análisis de varianza multifactorial que nos ha permitido detectar el nivel de significación y las diferencias temporales producidas en el patrón de lanzamiento.

Para el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el software Statgraphics 5.1 de Statistical Graphics Corporation (STCS, Inc. 2115 East Jefferson Street, Rockville, Maryland, 20852. USA).

Resultados

En la tabla 1 se presentan ciertos registros de tendencia central que hemos considerado relevantes para describir y comparar el nivel de eficacia de los cinco jugadores analizados. Los datos relativos a la velocidad tangencial media del balón en el instante de la suelta ($V_{t(\text{DESPEGUE})}$), ponen de manifiesto que el jugador S4 (especialista en lanzamientos en distancia) es el que consigue una velocidad media más alta ($25.38 \pm 1.25 \text{ ms}^{-1}$), mientras que ha sido el jugador que ha utilizado más tiempo para realizar sus lanzamientos ($T_{\text{LANZAMIENTO}}$; $236 \pm 24 \text{ ms}^{-1}$). El jugador S3 es el que obtiene la velocidad de salida del balón más baja ($23.73 \pm 1.25 \text{ ms}^{-1}$), siendo también el que utiliza menos tiempo para realizar sus lanzamientos ($189 \pm 18 \text{ ms}^{-1}$). Los datos medios referidos a la precisión son similares para todos los lanzamientos, lo que era de esperar al haber sido un criterio para la selección de los registros (inferiores a 0.40 m de cualquiera de los ángulos externos de la portería). El análisis de los datos intraindividuales también pone de manifiesto que el tiempo de lanzamiento tiende a ser mayor cuando se lanza al lado no dominante.

Tabla 1.- Estadística descriptiva sobre la velocidad tangencial media del balón en el instante de la suelta ($V_{t(\text{DESPEGUE})}$), la precisión y el tiempo de lanzamiento ($T_{\text{LANZAMIENTO}}$), para cada jugador y dirección de lanzamiento.

LANZADOR	DIRECCIÓN	$V_{t(\text{DESPEGUE})}$ (ms^{-1})	PRECISIÓN (m)	$T_{\text{(LANZAMIENTO)}}$ (ms)
S1 (N=29)	DS (N=11)	23.50±1.07	0.20±0.08	221±15
	DI (N=11)	24.39±1.22	0.17±0.08	221±10
	NS (N=5)	23.56±0.83	0.26±0.10	235±09
	NI (N=2)	26.13±0.88	0.36±0.04	242±06
S2 (N=33)	DS (N=10)	23.44±0.98	0.23±0.08	224±12
	DI (N=10)	23.72±1.01	0.20±0.11	228±14
	NS (N=6)	24.55±0.91	0.18±0.09	232±08
	NI (N=7)	25.00±0.92	0.16±0.12	234±10
S3 (N=30)	DS (N=10)	22.79±1.07	0.22±0.06	183±15
	DI (N=5)	22.22±1.22	0.13±0.10	183±09
	NS (N=5)	23.33±0.83	0.17±0.12	203±04
	NI (N=10)	24.64±0.88	0.26±0.10	200±12
S4 (N=26)	DS (N=8)	25.17±1.78	0.20±0.11	248±05
	DI (N=7)	25.85±0.94	0.19±0.04	234±19
	NS (N=3)	25.42±0.46	0.15±0.13	238±04
	NI (N=8)	25.13±1.04	0.24±0.09	246±09
S5 (N=27)	DS (N=8)	23.28±1.50	0.19±0.09	191±12
	DI (N=9)	24.83±1.35	0.13±0.09	186±14
	NS (N=0)	--	--	--
	NI (N=10)	25.05±1.66	0.22±0.06	208±17

El análisis intraindividual de los patrones de movimiento se ha realizado utilizando el análisis cluster para las coordenadas espaciales (x, y, z) de los cinco puntos almacenados, ayudado de una representación gráfica de distribución de los ensayos a cada una de las direcciones de lanzamiento. A modo de ejemplo, en la figura 2 se presenta el análisis de cluster para la coordenada horizontal (x-axis) del punto de la cadera del jugador S1, así como la representación gráfica de la distribución de los 29 ensayos a las cuatro direcciones de lanzamiento. El primer cluster agrupa a un total del trece ensayos: los cinco ensayos realizados al lado no dominante superior (NS), los dos únicos ensayos realizados al lado no dominante inferior (NI), cuatro ensayos realizados al lado dominante superior (DS) y dos ensayos realizados al lado dominante inferior (DI). En el segundo cluster se agrupan un total de dieciséis ensayos: registran siete ensayos al lado DS y nueve al DI, mientras que no aparecen ensayos al lado no dominante. Por lo tanto, de estos datos se puede interpretar la existencia de dos patrones de lanzamiento diferentes asociados a los dos lados de lanzamiento.

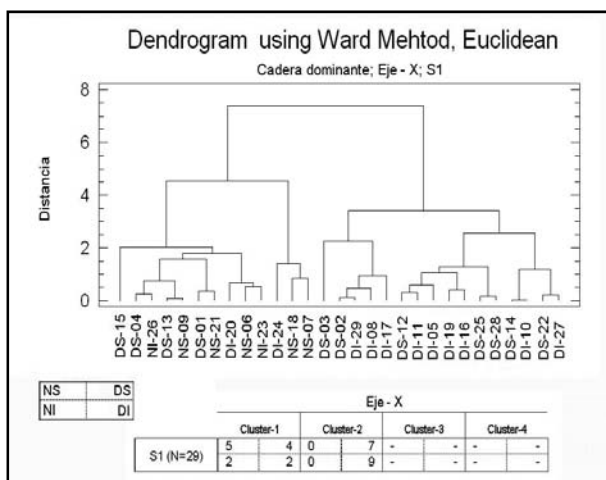


Figura 2.- Análisis de cluster para la coordenada horizontal (x-axis) del marcador de la cadera del jugador S1, donde la nomenclatura de los 29 ensayos responde a: DS-dominante superior; DI- dominante inferior; NS- no dominante superior; NI- no dominante inferior. A continuación aparece el número de ensayo correspondiente. En la parte inferior se representa la distribución de los ensayos hacia cada una de las direcciones de lanzamiento.

En la tabla 2 se presenta la interpretación del análisis de cluster siguiendo la distribución de los ensayos hacia cada una de las direcciones de lanzamiento para las coordenadas espaciales (x, y, z) del marcador de la cadera para los cinco jugadores.

Tabla 2.- Representación esquemática del análisis de cluster siguiendo la distribución de los ensayos hacia cada una de las direcciones de lanzamiento, para las coordenadas espaciales (x, y, z) del punto de la cadera de los cinco jugadores.

<i>EJE-X</i>									
	Cluster-1		Cluster-2		Cluster-3		Cluster-4		
S1 (N=29)	5	4	0	7	-	-	-	-	-
	2	2	0	9	-	-	-	-	-
S2 (N=33)	5	4	1	6	-	-	-	-	-
	6	2	1	8	-	-	-	-	-
S3 (N=30)	1	3	0	6	4	1	-	-	-
	4	2	3	2	3	1	-	-	-
S4 (N=26)	0	4	2	4	1	0	-	-	-
	4	1	1	3	3	3	-	-	-
S5 (N=27)	-	8	-	0	-	-	-	-	-
	8	5	2	4	-	-	-	-	-

<i>EJE-Z</i>									
	Cluster-1		Cluster-2		Cluster-3		Cluster-4		
S1 (N=29)	5	11	-	-	-	-	-	-	-
	2	11	-	-	-	-	-	-	-
S2 (N=33)	6	10	-	-	-	-	-	-	-
	7	10	-	-	-	-	-	-	-
S3 (N=30)	5	10	-	-	-	-	-	-	-
	10	5	-	-	-	-	-	-	-
S4 (N=26)	3	8	-	-	-	-	-	-	-
	8	7	-	-	-	-	-	-	-
S5 (N=27)	-	8	-	-	-	-	-	-	-
	10	9	-	-	-	-	-	-	-

<i>EJE-Y</i>									
	Cluster-1		Cluster-2		Cluster-3		Cluster-4		
S1 (N=29)	1	5	4	6	-	-	-	-	-
	0	2	2	9	-	-	-	-	-
S2 (N=33)	0	7	6	3	-	-	-	-	-
	1	6	6	4	-	-	-	-	-
S3 (N=30)	2	5	3	5	-	-	-	-	-
	5	2	5	3	-	-	-	-	-
S4 (N=26)	3	8	-	-	-	-	-	-	-
	8	7	-	-	-	-	-	-	-
S5 (N=27)	-	8	-	0	-	-	-	-	-
	8	3	2	6	-	-	-	-	-

Según la distribución expuesta, para el x-axis, el jugador S2 mantiene la misma tendencia que la indicada en el párrafo anterior para el jugador S1. En el caso de los jugadores S3 y S4, el número de clusters aumenta a tres, sin que se pueda interpretar una tendencia clara con respecto a la dirección de lanzamiento. Para el jugador S5, se han obtenido dos clusters, aunque la distribución de los ensayos tampoco nos permite asociarlos con las direcciones de lanzamiento. Para el z-axis eje, sólo se ha obtenido un cluster para todos los jugadores, lo que se interpreta como un único patrón de movimiento para realizar los lanzamientos a las diferentes direcciones. Para y-axis, los lanzadores S1 y S2, concentran la mayoría de los ensayos dirigidos hacia el lado no dominante en el cluster-2. Para el jugador S5, todos los lanzamientos realizados hacia el lado dominante superior (DS=8) y la mayoría de los realizados hacia el lado no dominante inferior (NI=8) se concentran en el cluster-1, mientras que la mayoría de los lanzamientos realizados al lado dominante inferior (DL=6) aparecen en el cluster-2.

En el análisis de los datos registrados para las coordenadas espaciales del resto de los puntos analizados, el número de clusters tiende a incrementarse a medida que el punto analizado es más distal.

Así, el mayor número de clusters se ha obtenido en el punto que se identifica con el centro geométrico del balón, lo que se presenta en la tabla 3. Para el x-axis, el jugador S1, agrupa en el cluster-1 la mayoría de los ensayos dirigidos hacia el lado dominante superior (DS=10), mientras que en cluster-2 se concentran la mayoría de los ensayos que se dirigen hacia el lado dominante inferior (DI=8). El lanzador S2 obtiene una distribución de los ensayos similar a la descrita para los dos primeros clusters del jugador S1 y, en el cluster-3, se concentran la mayoría de los ensayos dirigidos hacia el lado no dominante inferior (NI=5). Para este mismo eje, el lanzador S3 presenta tres clusters, aunque no parecen estar asociados con la distribución de los ensayos a cada dirección de lanzamiento. El lanzador S4 agrupa la mayoría de los ensayos dirigidos hacia el lado dominante en el cluster-2. El lanzador S5 registra cuatro clusters sin que puedan asociarse con la dirección de lanzamiento. Para el z-axis, en ningún caso se puede interpretar que los clusters registrados por los cinco lanzadores estén asociados con la dirección de los lanzamientos. Para el y-axis, los jugadores S1 y S2, concentran la mayoría de los ensayos realizados hacia el lado dominante en el cluster-1, mientras que en el cluster-3 concentran la mayoría de los ensayos realizados en el lado no dominante. Los lanzadores S3 y S4 incrementan el número de clusters a cuatro, sin que se puedan asociar a la dirección de lanzamiento. El lanzador S5 concentra la mayoría de los ensayos dirigidos a DS (7) en el cluster-1, a NI (7) en el cluster-2 y la mayoría de los dirigidos a DI en el cluster-3.

Tabla 3.- Representación esquemática del análisis de cluster siguiendo la distribución de los ensayos hacia cada una de las direcciones de lanzamiento para las coordenadas espaciales (x, y, z) del centro geométrico del balón de los cinco jugadores.

EJE-X								
	Cluster-1		Cluster-2		Cluster-3		Cluster-4	
S1 (N=29)	2	10	1	1	2	0	-	-
	0	2	0	8	2	1	-	-
S2 (N=33)	3	8	2	2	1	0	-	-
	0	1	2	6	5	3	-	-
S3 (N=30)	2	2	3	2	0	6		
	5	1	3	1	2	3		
S4 (N=26)	0	2	1	6	2	0		
	2	1	2	5	4	1		
S5 (N=27)	-	1	-	2	-	4	-	1
	2	1	4	4	2	2	2	2
EJE-Z								
	Cluster-1		Cluster-2		Cluster-3		Cluster-4	
S1 (N=29)	3	4	2	7	-	-	-	-
	2	7	0	4	-	-	-	-
S2 (N=33)	2	6	4	4	-	-	-	-
	1	9	6	1	-	-	-	-
S3 (N=30)	2	7	3	3	-	-	-	-
	5	3	5	5	-	-	-	-
S4 (N=26)	1	5	2	2	0	1	-	-
	1	1	4	4	3	2	-	-
S5 (N=27)	-	8	-	0	-	-	-	-
	8	6	2	3	-	-	-	-
EJE-Y								
	Cluster-1		Cluster-2		Cluster-3		Cluster-4	
S1 (N=29)	0	9	0	2	5	0	-	-
	0	8	0	3	2	0	-	-
S2 (N=33)	0	7	0	4	6	0	-	-
	0	8	1	2	6	1	-	-
S3 (N=30)	0	5	0	5	4	0	1	0
	5	3	1	2	0	0	4	0
S4 (N=26)	0	2	1	1	1	5	1	0
	0	2	5	2	0	3	3	0
S5 (N=27)	-	7	-	0	-	1		
	0	3	7	0	3	6		

Para completar el análisis de cluster, se ha realizado un análisis de varianza multifactorial a todos los datos temporales registrados. A modo de ejemplo, en la Figura 3 se presenta el análisis multifactorial del *y-axis*, de los puntos correspondientes al hombro, codo y centro geométrico del balón, para el jugador S5. En la parte superior se han representado una vista cenital (*x,y*) de ciertas posiciones temporales medias de los puntos analizados con respecto al origen del SR2.

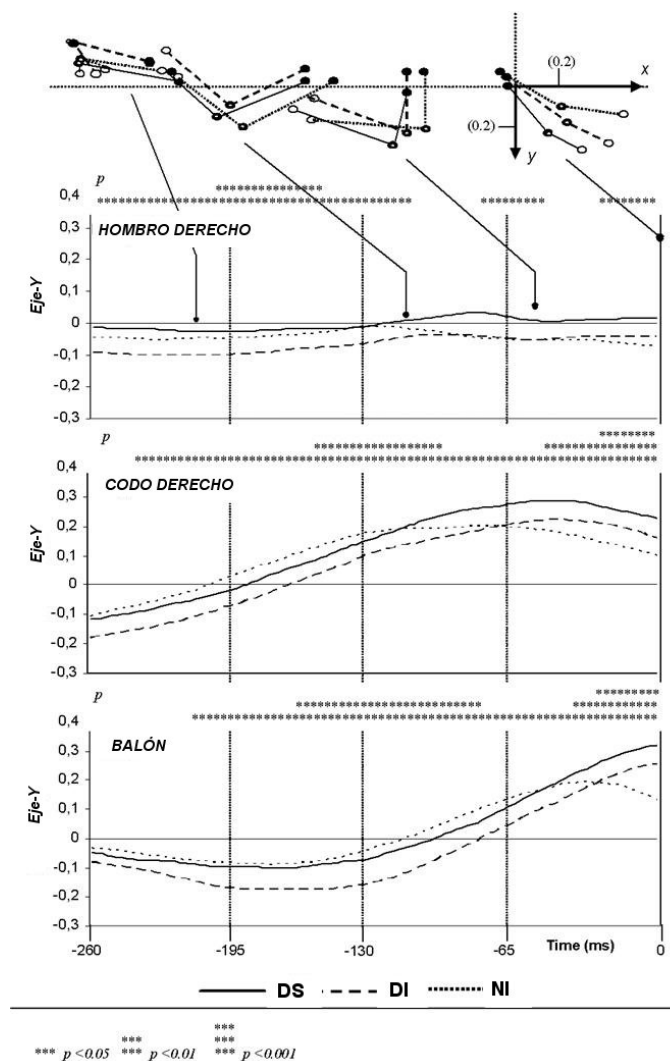


Figura 3.- Gráficas de tendencia central para las direcciones de lanzamiento y análisis de varianza factorial del *y-axis*, de los puntos correspondientes al hombro, codo y centro geométrico del balón, para el jugador S5. En la parte superior se representa una vista cenital (*x,y*) de ciertas posiciones temporales medias de los puntos analizados con respecto al origen del SR2.

Para los tres marcadores se pueden observar tres patrones de movimiento diferenciados. Cuando el lanzamiento se dirige hacia el lado DI, los tres marcadores tienden a estar más desplazados hacia el lado dominante que cuando el lanzamiento se dirige hacia el lado DS. Esta misma tendencia tiende a mantenerse en el marcador del hombro hasta -120 ms antes de la suelta, donde cambia de tendencia. Este cambio se produce -105 ms antes de la suelta para el marcador del codo y en -48 ms antes de la suelta para el centro geométrico del balón. La visión cenital de las posiciones de los tres puntos pone de

manifiesto la secuencia temporal de los segmentos, así como el retroceso que experimenta el segmento codo-balón al acelerarse el brazo hacia delante.

Cuando se realiza esta misma estadística para las coordenadas de los puntos analizados más distales (codo, muñeca y balón) de los cinco jugadores, las diferencias entre las medias de los ensayos dirigidos hacia cada dirección de lanzamiento, se incrementan con respecto a los marcadores más proximales (hombro y cadera), registrándose las mayores diferencias en tiempos más cercanos a la suelta.

Discusión

A pesar de que todos los lanzadores analizados jugaban en la misma categoría y tenían una experiencia similar, los resultados ponen de manifiesto que los no especialistas en lanzamientos exteriores (S1, S2 y S5), obtienen un número más reducido de cluster y están asociados a la dirección de lanzamiento, mientras que los dos jugadores con mayor nivel de especialización en lanzamientos exteriores (S3 y S4), obtienen un número de cluster mayor sin que puedan ser asociados a las direcciones de lanzamiento. Esta falta de identificación de los clusters con la dirección de lanzamiento nos permite reforzar la idea propuesta por Schorer et al. (2007) sobre el uso de diferentes patrones para lanzar a las cuatro direcciones propuestas, lo que se ha identificado como una variabilidad funcional que les permite adaptarse a los cambios ambientales (Bartlett, et al., 2007). Este tipo de variabilidad supone mayores recursos para adaptarse con éxito a las exigencias de cada lanzamiento, reduciendo la información o incrementando la incertidumbre que sus lanzamientos provoca en el portero.

En la situación experimental propuesta en este estudio, la presencia de un portero justifica aún más la existencia de una variabilidad funcional o modificaciones en la secuencia temporal P-D para adaptarse a los cambios producidos por un desplazamiento precipitado del portero o con el objetivo de ocultar o retrasar los indicadores de dirección que faciliten la anticipación del portero, lo que consideramos que constituye una estrategia muy eficaz de los lanzadores expertos con el propósito de engañar al portero (Fradet et al., 2004; Schorer et al., (2007). Considerando el nivel de especialización en los lanzamientos de distancia como un concepto relacionado con la eficacia, ésta podría estar asociada a la adquisición de una habilidad que les permite utilizar diferentes patrones de lanzamiento sin que se vea afectada la velocidad de salida del balón, con el propósito de engañar al portero.

En el eje vertical (z) se ha identificado un número más reducido de cluster que en el resto de los ejes, siendo también menores las diferencias entre las medias, lo que nos permite considerar que el lanzador ofrece menos indicadores de altura y, consecuentemente, el portero tendría más dificultad para predecir la altura de lanzamiento, lo que coincide con las aportaciones de Savelsbergh et al. (2002).

Considerando la metodología utilizada en este estudio, coincidimos con Schorer et al., (2007) cuando se refieren a la eficacia del análisis de cluster para el estudio de la variabilidad de los patrones de movimiento, aunque consideramos que es necesario completarlo con una representación gráfica de los registros de las coordenadas con respecto al tiempo y su correspondiente análisis de varianza multifactorial para la secuencia temporal de las coordenadas espaciales, con el propósito de identificar las diferencias entre las medias de los ensayos dirigidos a cada dirección de lanzamiento. Además de constituir una excelente ayuda para su interpretación, a veces, el uso exclusivo de la distancia eucladiana

cuadrática para obtener los clusters, no permite detectar ciertas modificaciones en el patrón de movimiento que pueden ser relevantes para el análisis. A modo de ejemplo, la distribución de la dirección de los ensayos en el *y-axis* del centro geométrico del balón, para el jugador S5 (tabla 3) nos permitiría interpretar la existencia de tres patrones asociados a la dirección de lanzamiento. Sin embargo, cuando nos ayudamos del análisis de varianza factorial y su correspondiente análisis de contrastes (figura 3), nos confirma la estabilidad de esos tres patrones de movimiento, aunque nos permite profundizar en esa interpretación, observando cómo, desde el tiempo -215 ms, existen diferencias significativas entre los ensayos realizados al lado dominante inferior (DI), con respecto a las otras dos direcciones de lanzamiento, mientras que no existen diferencias significativas entre los ensayos realizados hacia los lados dominante superior (DS) y el no dominante inferior (NI). Las diferencias en el patrón de movimiento que identifica el lado de lanzamiento (NI con respecto a DS y DI) sólo aparecen instantes antes de la suelta (-40 ms). Así, podría interpretarse como dos patrones diferentes en función de la altura de lanzamiento (DS y DI) y un tercero que se comporta similar al utilizado para lanzar a DS y cambia secuencialmente para dirigirlo al lado contrario (NI).

Como se ha expuesto, la metodología utilizada también permite identificar la secuencia temporal que se utiliza para modificar el patrón de movimiento en función de la dirección de lanzamiento deseada. En el caso comentado para el lanzador S5 (figura 3), cuando se realiza el lanzamiento hacia el lado no dominante inferior (NI), las coordenadas del hombro para el *y-axis*, mantiene una tendencia similar al patrón utilizado para lanzar hacia el lado DS, cambiando esta tendencia a -120 ms antes de la suelta. Las coordenadas del codo cambian esa misma tendencia a -105 ms antes de la suelta. La articulación de la muñeca a -58 ms antes de la suelta. Finalmente, el centro geométrico del balón cambia la tendencia a -48 ms antes de la suelta. Este hecho nos permite comprobar cómo es posible cambiar un patrón de movimiento de una cadena cinética P-D según los objetivos de dirección pretendidos. En el caso representado en la figura 3, se observa como los cambios que se producen en los marcadores del hombro y el codo están muy próximos en el tiempo (-120 ms y -105 ms, respectivamente), unos resultados que podrían fortalecer la idea aportada por Fradet et al.(2004) y Van den Tillaar and Ettema (2009), de considerar que los jugadores expertos de balonmano podrían modificar la secuencia temporal de su cadena cinética P-D.

Conclusiones

La metodología propuesta constituye un instrumento muy adecuado para identificar la variabilidad funcional de los deportistas en aquellas actividades que implican a las cadenas cinéticas secuenciales (P-D) ante oposición. En este sentido destacamos la necesidad de utilizar el análisis de conglomerados combinado con el análisis de varianza multifactorial.

La mayor variabilidad funcional de los jugadores especialistas en lanzamientos frente a los no especialistas, indica una mayor adaptabilidad a la situación real de juego, pudiendo lanzar a la misma dirección utilizando diferentes patrones de movimiento sin que se vea afectada la velocidad de salida del balón.

El eje transversal (y-axis) se ha mostrado como el más sensible a las modificaciones producidas en las direcciones de los lanzamientos, incrementándose la amplitud del movimiento cuando el lanzamiento se dirige hacia el lado no dominante, mientras que el eje vertical (z-axis) es el menos influenciado por las diferentes direcciones por lo que la anticipación espacial del portero en altura entraña una mayor dificultad.

Aunque las posibles modificaciones en la secuencia temporal de la cadena cinética no ha sido el objeto de este trabajo y la metodología utilizada no permite hacer esta evaluación, el análisis de los resultados pone de manifiesto que la variabilidad funcional de los patrones de lanzamiento en jugadores expertos de balonmano podría estar relacionada con las modificaciones que se producen en la cadena cinética utilizada, lo que nos permite considerar una perspectiva de investigación futura.

Referencias

- Abdel-Aziz, Y. I. and Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *ASP Symposium on Close-Range photogrammetry* (pp. 1–18), Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Barlett, R., Wheat, J. and Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanics?. *Sports Biomechanics*, 6(2), 224-243.
- Chow, J. Y., Davids, K., Button, C. and Koh, M. (2008). Coordination changes in a discrete multi-articular action as a function of practice. *Acta Psychologica*, 127, 163-176.
- Fradet, L., Botcazou, M., Durochel, C., Cretual, A., Multon, F., Prioux, J., and Delamarche, P. (2004). Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence?. *Journal of Sports Sciences*, 22, 439-447.
- Glazier, P.S., Wheat, J.S., Pease, D.L. and Barlett, R.M. (2006). The interface of biomechanics and motor control: Dynamics systems theory and the functional role of movement variability. In K. Davids, S. Bennet and K. Newell (Eds.), *Movement system variability* (pp.49-69). Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.
- Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F.J., Ortega, M., Campos, J. and Parraga, J. (2011,a) Anticipatory strategies of handball goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, 29(12), 1321-1328.
- Gutiérrez-Dávila, M., Ortega, M., Parraga, J., Campos, J. y Rojas, F.J. (2011,b). Variabilidad de la secuencia temporal de la cadena cinética en el lanzamiento de balonmano. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 11(23), 455-471
- Huys, R., Smeeton, N. J., Hodges, N. J., Beek, P. J. and Williams, M. (2008). On the dynamical information underlying visual anticipation skill in perceiving tennis shots. *Perception & Psychophysics*, 70, 1217-1234.
- Herring, R.M. and Chapman, A.E. (1992). Effects of changes in segmental values and timing of both torque and torque reversal in simulated throws. *Journal of Biomechanics*, 25, 1173-1184.
- Mouelhi Guizani, S., Bouzaouach, I., Tenenbaum, G., Ben Kheder, A., Feki, Y. and Bouaziz, M. (2006). Simple and choice reaction times under varying levels of physical load in high skilled fencers. *Journal of Sports Medicine and physical fitness*, 46(2), 344-351.

- Newell, K.M., Deutsch, K.M., Sosnoff, J.J. and Mayer-Kress, G. (2006). Variability in motor output as noise: A default and erroneous proposition? In K. Davids, S. Bennett and K.M. Newell (Eds.), *Movements system variability*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Putnam, C. (1993). Sequential motion of body segments in striking and throwing skills: description and explanation. *Journal of Biomechanics*, 26, 125-135.
- Savelsbergh, G.J.P., Williams, A.M., Van der Kamp, A.M. and Ward, P. (2002). Visual search, anticipation and expertise in soccer goalkeepers. *Journal of Sports Sciences*, 20, 279-287.
- Schorer, J., Baker, J., Fath, F. and Jaitner, T. (2007). Identification of interindividual and intraindividual movement patterns in handball players of varying expertise levels. *Journal of Motor Behavior*, 39(5), 409-421.
- Van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2009). Is there a proximal-to-distal sequence in overarm throwing in team handball?. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 949-955.
- Williams, A.M., Huys, R., Cañal-Bruland, R. and Hagemann, N. (2009). The dynamical information underpinning anticipation skill. *Human Movement Science*, 28(3), 362-370.
- Wood, J. A. and Jennings, L.S. (1979). On the use splines functions for data smoothing. *Journal of Biomechanics*, 12, 477-479.

Referencia del artículo:



Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, J., Ortega-Becerra, M., Párraga, J., Campos, J. (2012). Variabilidad funcional como factor de eficiencia en los lanzamientos a portería en balonmano. *E-balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte* 8(2), 121-134. <http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/index>